

eine Anregungsfunktion der Form

$$a(t) = A - B \exp[C(t - t_0)],$$

wobei

$$C = -(\alpha + \beta n_0).$$

Eine weitere Untersuchung hat ergeben, daß auch die Konstante  $A$  auf eine sehr einfache Form gebracht werden kann. Es ergibt sich nämlich

$$A = \gamma n_0^2 \left( 1 + \frac{\beta H}{\alpha + \beta n_0} \right) = \gamma n_0^2 \left( 1 - \frac{\beta H}{C} \right).$$

Wird also  $a(t)$  für verschiedene  $n_0$  gemessen, so kann mit Hilfe der daraus bestimmbaren Konstanten  $A$  und

$C$  nicht nur das lineare Gesetz  $C(n_0)$ , sondern auch das lineare Gesetz  $A/n_0^2 \cdot (1/C)$  geprüft werden. Aus ersterem ergeben sich, wie früher<sup>1</sup> gezeigt, die Anregungswahrscheinlichkeit  $\alpha$  und der Anhaftkoeffizient  $\beta$ , aus letzterem darüber hinaus der Rekombinationskoeffizient  $\gamma$  und die Hafttermkonzentration  $H$ .

Bezüglich des Differentialgleichungssystems (1) kann also zusammenfassend gesagt werden, daß die Methode der gesteuerten Anregung *sämtliche* reaktionskinetischen Parameter des ihm entsprechenden Modells auf einfache Weise und ohne Einführung von weiteren Näherungen zu bestimmen gestattet.

## Feldeffekt an CdS-Einkristallen

VON W. THIELEMANN

Physikalisches Institut der Karl-Marx-Universität Leipzig  
(Z. Naturforsch. 14 a, 92–93 [1959]; eingegangen am 29. November 1958)

In einer früheren Notiz<sup>1</sup> wurde über einige feldabhängige Effekte bei teilweiser Belichtung berichtet: Ein CdS-Einkristall, an dessen möglichst weit voneinander entfernt angeordneten Elektroden eine Spannung von etwa 100 V liegt, wird mit Licht im Gebiet der Grundgitter-Absorption bestrahlt. Etwa in der Mitte zwischen beiden Elektroden wird mit Hilfe einer Blende ein 0,5 mm breiter, senkrecht zur Feldrichtung liegender Schattenstreifen erzeugt. Verschiebt man die Blende ruckartig um ein kleines Stück  $\Delta s$ , das kleiner ist als die Blendenbreite, so tritt ein Stromstoß auf, wenn die Verschiebung in Richtung zur Anode erfolgt. Dagegen sinkt der Strom vorübergehend ab, wenn die Blende um den gleichen Betrag in Richtung zur Kathode verschoben wird. Wenn  $\Delta s$  größer ist als die Blendenbreite, tritt auch bei Verschieben der Blende in Richtung zur Kathode ein Stromstoß auf, der aber kleiner ist als bei Verschieben der Blende in Richtung zur Anode. Der Unterschied ist um so kleiner, je größer  $\Delta s$  ist.

Es lag die Vermutung nahe, daß diese Erscheinung auf dem sogenannten Feldeffekt beruht, d. h., daß infolge der auftretenden Potentialänderungen innerhalb des Kristalls durch Influenz die Elektronenzahl im Kristall und damit die Leitfähigkeit beeinflusst wird. Um diese Vermutung zu prüfen, wurde zur Verstärkung der Influenzwirkung parallel zur Kristalloberfläche in einem Abstand von 0,1 mm eine Kondensatorplatte angeordnet und mit Kathode oder Anode verbunden. Es zeigte sich, daß durch diese Maßnahme der Effekt bedeutend größer wird: Unabhängig von der Länge der Strecke  $\Delta s$  tritt bei Verschieben der Blende in Richtung zur Anode ein großer Stromstoß auf, dagegen bei Verschieben der Blende in Richtung zur Kathode eine vorübergehende Stromabsenkung.

Bei ruhender Blende fällt fast die gesamte Spannung an dem Dunkelgebiet ab. Wird die Blende in Richtung zur Anode verschoben, so nimmt der von dem Schatten überstrichene Teil des Kristalles annähernd das Potential der Kathode an, während er vorher annähernd

Anodenpotential hatte. Diese Potentialänderung  $\Delta V$  führt entsprechend der Beziehung  $\Delta Q = C \Delta V$  zu einer Vergrößerung der Elektronenzahl in dem betroffenen Gebiet und damit zu einer Erhöhung der Leitfähigkeit. Die Größe  $C$  bedeutet die Kapazität zwischen dem beschatteten Gebiet und der Kondensatorplatte. (Bei fehlender Kondensatorplatte bedeutet  $C$  die Kapazität zwischen dem beschatteten Gebiet und den Wänden des Abschirmgehäuses.) Innerhalb kurzer Zeit wird allerdings der weitaus größte Teil der influenzierten Elektronen von Haftstellen aufgenommen. Infolgedessen tritt bei ruckartigem Verschieben der Blende nur ein kurzzeitiger Stromstoß auf. Verschieben der Blende in Richtung zur Kathode führt zu einer Potentialänderung mit umgekehrtem Vorzeichen und damit zu einem Entzug von Leitungselektronen; der Strom sinkt ab. Allmählich steigt aber der Strom wieder an, da der Mangel an Leitungselektronen durch Nachlieferung von Elektronen aus den Haftstellen ausgeglichen wird.

Größere Stromänderungen treten auf, wenn man den Kristall gleichmäßig ohne Zwischenschaltung einer Blende belichtet und das Potential der Kondensatorplatte sprunghaft um 100 V oder mehr verändert. Die Platte sei zunächst auf Kathodenpotential. Lädt man sie um den genannten Betrag positiv auf, so entsteht ein Stromstoß, dessen Maximum bei sehr schwacher Belichtung den Photostrom um mehrere Größenordnungen überragt. Innerhalb einiger Millisekunden klingt der Stromstoß ab und geht in einen stationären Strom über, der etwas größer ist als vorher. Wenn man die Platte wieder entlädt, setzt der Strom einige Sekunden lang vollkommen aus und beginnt dann allmählich auf seinen ursprünglichen Wert anzusteigen.

Bei fehlender Bestrahlungsanregung tritt kein Stromstoß auf, wenn man die Platte positiv auflädt. Offenbar werden die influenzierten Elektronen sofort von tieferen Haftstellen eingefangen, die bei Bestrahlung besetzt sind. Die Influenzladung kann durch einen einfachen Versuch nachgewiesen werden: Beide Elektroden des Kristalls werden miteinander verbunden und über einen hochohmigen Widerstand geerdet. Die vorher geerdete Kondensatorplatte wird bei Dunkelheit positiv aufgeladen und anschließend wieder geerdet. Die dabei influenzierten Elektronen werden von Haftstellen einge-

<sup>1</sup> W. THIELEMANN, Z. Naturforsch. 12 a, 1023 [1957].



fangen und können infolgedessen den Kristall nicht wieder verlassen. Erst wenn der Kristall belichtet wird, fließt die negative Influenzladung über den hochohmigen Widerstand zur Erde ab. Dieser Entladestrom kann mit Hilfe eines Gleichspannungsverstärkers, der einen Oszillographen steuert, gut beobachtet werden.

Die beschriebenen Versuche bestätigen, daß das unterschiedliche Verhalten des Photostroms bei ruckartiger

Bewegung eines Schattenstreifens in Richtung zur Anode bzw. in umgekehrter Richtung durch die Änderung der Leitfähigkeit infolge Influenz bedingt ist. Auch die anderen, in der oben zitierten Notiz beschriebenen Effekte lassen sich auf die gleiche Ursache zurückführen. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen; ein ausführlicher Bericht wird nach Abschluß der Arbeit gegeben.

## Zum Einfluß einer Temperung auf die Trägerlebensdauer von Silicium

VON G. ZIEGLER und M. ZERBST

Mitteilung aus dem Werkstoffhauptlaboratorium der Siemens & Halske AG., München

(Z. Naturforsch. 14 a, 93–94 [1959]; eingegangen am 13. November 1958)

Beim Abschrecken von Silicium von relativ niederen Temperaturen (400 bis 600 °C) fand BEMSKI<sup>1</sup> eine drastische Abnahme der Trägerlebensdauer, die sich durch Tempern und langsames Abkühlen rückbilden ließ. Nach Vermutung von BEMSKI werden dabei Störstellen im Innern des Kristalls umgelagert. Demgegenüber zeigten THEUERER und Mitarb.<sup>2</sup>, daß Temperungen bei Temperaturen bis 1200 Grad nicht unbedingt zur Lebensdauerverminderung führen müssen, denn unter

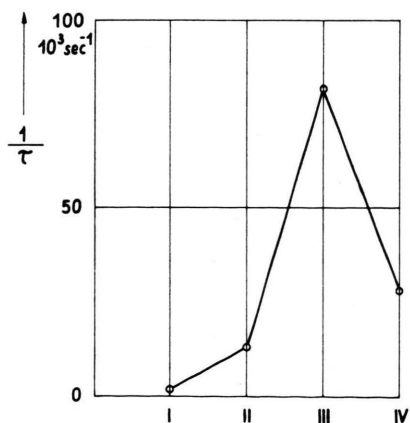


Abb. 1. Rückbildung der Lebensdauerverminderung durch langsame Abkühlung von 450 °C. I Ausgangszustand; II chemisch poliert, langsam abgekühlt; III chemisch poliert, abgeschreckt; IV chemisch poliert, langsam abgekühlt.

sauberen Bedingungen blieb die Lebensdauer im wesentlichen erhalten. Bei diesen Versuchen wurden die Stäbe allerdings mittels einer langsam wandernden Hochfrequenzspule beheizt und die Versuche sagen somit nichts über den Abschreckeffekt aus.

Es schien daher wünschenswert, den Abschreckeffekt auch bei hochreinem Silicium mit ursprünglich hoher Lebensdauer (im Hochvakuum tiegelfrei erschmolzen)

zu untersuchen. Die Proben wurden zunächst chemisch poliert und in einer Quarzapparatur bei 450 °C im Hochvakuum gegläht. Das Abschrecken erfolgte im dünnwandigen Quarzrohr durch Eintauchen in Wasser von Zimmertemperatur. Zur Ergänzung wurden Versuche mit langsamer Abkühlgeschwindigkeit (1°/min) durchgeführt. Die Lebensdauer wurde nach der Lichtblitzmethode<sup>3</sup> gemessen.

Bei diesen Versuchen konnte der von BEMSKI referierte Effekt qualitativ reproduziert werden (Abb. 1). Allerdings ließ sich die Lebensdauerverminderung nicht wie bei BEMSKI durch langsame Abkühlung völlig rückbilden. Daß bei abgeschreckten Proben die Lebensdauer im ganzen Volumen vermindert wurde, konnte durch Abtragen von Oberflächenschichten und Messen der Restprobe bestätigt werden. Der spezifische Widerstand blieb bei diesen Versuchen im Rahmen der Meßgenauigkeit unverändert.

Um die Frage zu klären, ob die bei der Temperung wirksamen Störstellen bereits im Ausgangsmaterial vorhanden sind (Thermium) oder von außen eingeschleppt werden, wurden Versuchsreihen unter verschiedenen Oberflächenbehandlungen durchgeführt. Unter anderem schien eine Sandstrahlbehandlung zweckmäßig, da durch die Sandpartikel die Oberfläche stückchenweise herausgebrochen wird, ohne daß ein chemisches Reagens die Oberfläche berührt.

Wie aus Tab. 1 ersichtlich ist, bleibt die Lebensdauer in sandgestrahlten Proben beim Tempern und Abschrecken nahezu unverändert. Bei langsamer Temperaturführung trat sogar eine Erhöhung der Lebensdauer um etwa 10% ein.

Bei diesem Effekt kann es sich höchstens zum Teil um eine Getterung von Störstellen aus dem Probeninnern an der sandgestrahlten Oberfläche handeln. Wurden nämlich durch chemisches Polieren und Abschrecken verschlechterte Proben sandgestrahlt und erneut einer Abschreckbehandlung unterworfen, so wurde die Lebensdauer zwar um 20 bis 40% erhöht, aber in keinem Falle der ursprüngliche Wert auch nur annähernd erreicht.

Auf Grund dieser und ergänzender Versuche wird geschlossen, daß die Störstellen, welche die erwähnten Tempereffekte verursachen, beim chemischen Polieren auf der Oberfläche fixiert werden und bei 450 °C rasch

<sup>1</sup> G. BEMSKI, Phys. Rev. **103**, 567 [1956].

<sup>2</sup> H. C. THEUERER, J. M. WHELAN, H. E. BRIDGERS u. E. BUEHLER, J. Electrochem. Soc. **104**, 721 [1957].

<sup>3</sup> W. HEYWANG u. M. ZERBST, Z. Naturforsch. **11 a**, 256 [1956].